

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПОР ВОКРУГ ЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ В ХОДЕ ВОЛОЧЕНИЯ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

*Иванова М.А., Карабаналов М.С.*

*Руководители – проф., к.т.н. Демаков С.Л., доц., к.т.н. Илларионов А.Г.,  
проф., д.т.н. Логинов Ю.Н.*

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург  
m.a.ivanova@ustu.ru

Кислородсодержащая медь является основным материалом для производства проводниковых систем электротехнического назначения. В производственных условиях при охлаждении расплава меди, содержащей кислород выше предела растворимости, при кристаллизации происходит выделение эвтектики и часть кислорода в металле связывается в частицы закиси меди преимущественно по границам зерен. При последующей горячей обработке металла происходит динамическая рекристаллизация, за счет которой частицы закиси меди оказываются не по границам зерен, а внутри зерна. При последующей холодной деформации частицы закиси являются своеобразным упрочнителем медной матрицы, играя как положительную, так и отрицательную роль.

Положительная роль заключается в повышении прочности проволоки, производимой в электротехнической промышленности. Отрицательная роль проявляется в снижении пластичности металла, поскольку часть материала становится откровенно хрупкой (сами частицы закиси не обладают высокими пластическими свойствами). При утонении проволоки в производственном процессе наступает такой момент, при котором размер частиц закиси становится соизмерим с толщиной проволоки, в этом месте проволока либо рвется на стадии волочения, либо перегорает на стадии использования в качестве проводника электрического тока.

Целью данной работы является изучение взаимодействия частицы оксида меди с медью в процессе многопроходного волочения. Медная проволока с включениями оксида меди может быть представлена как композиционный материал, состоящий из медной матрицы и инородного вещества, распределенного в объеме матрицы.

Результаты теоретического анализа показали, что при накоплении деформации в машинах многопроходного волочения вокруг частицы оксида меди могут возникать образования типа пор, и их протяженность может зависеть от накопления деформации, что для высоконагартованного состояния может приводить к обрывам проволоки.

Для экспериментального подтверждения проведенного теоретического анализа использовали проволоку из меди марки М00 производства ЗАО СП «Катур-Инвест», полученную из катанки на этом же предприятии методом CONTIROD из катодов марки М00к производства ОАО «Уралэлектромедь». Содержание кислорода в меди различными нормативными документами ограничивается различными пределами, например, стандартом ГОСТ 859 - до 0,03 масс.%, в исследованном металле это содержание составляло 0,024 мас.%. Проволоку получали волочением в производственных условиях из промежуточной заготовки диаметром  $d_0 = 2$  мм на стане многократного и многониточного волочения Niehoff ММН 121. Образцы для испытаний диаметрами  $d_i = 1,563; 0,982; 0,619; 0,390$  мм отобраны по маршруту волочения при сохранении уровня нагартовки. Из отобранных отрезков проволоки стандартными методами приготавливали образцы для металлографического исследования с плоскостью вдоль оси волочения (продольное сечение. Структурный анализ проводился на растровом электронном микроскопе JSM-6490LV, химический состав закиси меди определяли методом микрорентгеноспектрального анализа с помощью приставки к микроскопу Oxford Inca.

Результаты растровой электронной микроскопии приведены на рисунке 1. На фоне медной матрицы видны частицы закиси меди и окружающие их поры. Направление волочения расположено горизонтально относительно расположения фотографий. Химический состав включения отражен на рис. 1, д. Он доказывает, что включение является частицей оксида меди в форме закиси  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Аналогичные анализы показали, что на последующих фотографиях также представлены частицы закиси меди.

Анализ фотографий показывает следующее.

- частица оксида меди окружена несплошностью в виде порового пространства;
- можно выявить две поры, примыкающих с двух сторон частицы, при этом поры расположены вдоль линии, характеризующей ось волочения;
- размер пор зависит от размера частицы оксида, при большем поперечном размере частицы размеры поры также становятся больше;
- протяженность пор при одном диаметре проволоки примерно одинакова;
- при уменьшении диаметра происходит вытягивание поры вдоль оси волочения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке госконтракта № 02.740.11.537, выполняемого в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013, реализуемой Минобрнауки России, а также при финансовой поддержке молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ.*

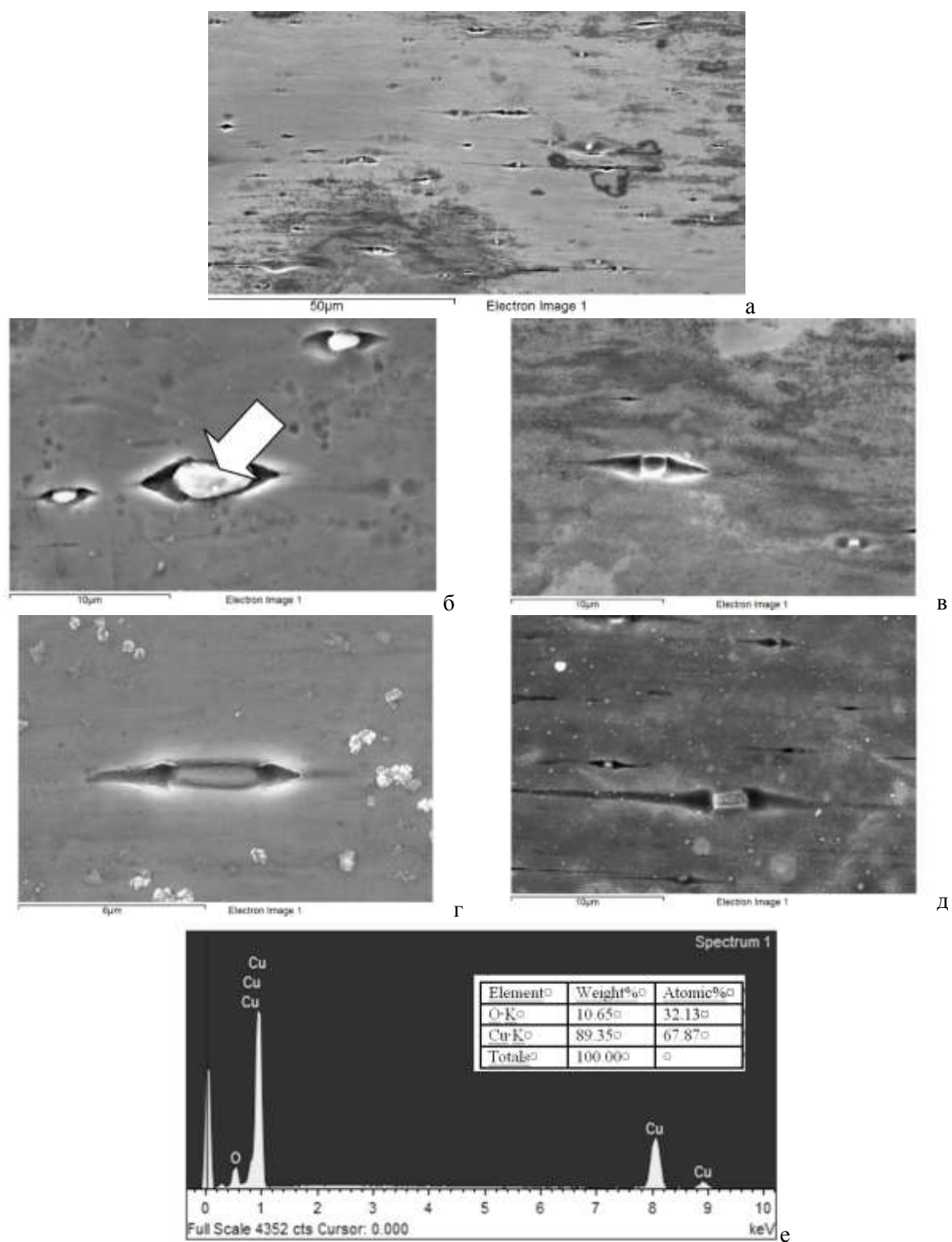


Рис. 1. Данные растровой электронной микроскопии продольных шлифов медной проволоки: а - расположение включений в проволоке диаметром 0,982 мм при умеренном увеличении; при большом увеличении на диаметрах: б – 1,563 мм; в – 0,982 мм; г – 0,619 мм; д – 0,390 мм; е - данные химического анализа включения, отмеченного белой стрелкой и соответствующий спектр